

Makroavertebrata Bentos sebagai Bioindikator Kualitas Air Sungai Nimbai Manokwari, Papua Barat

(Benthos Macroinvertebrates as Bioindicator of Water Quality in Nimbai Stream at Manokwari, West Papua)

Simon Petrus Oktovianus Leatemia^{1*}, Emmanuel Manangkalangi¹,
Paskalina Theresia Lefaan², Hans Fence Zakeus Peday³, Luky Sembel¹

(Diterima Oktober 2016/Disetujui Maret 2017)

ABSTRAK

Makroavertebrata bentos telah dimanfaatkan sebagai bioindikator untuk menilai kualitas perairan sungai, namun masih sangat jarang diaplikasikan di sungai-sungai yang ada di Papua Barat. Makroavertebrata bentos dapat menggambarkan kualitas perairan sungai sehingga sangat baik dijadikan sebagai bioindikator, karena tiap spesies memiliki toleransi yang berbeda terhadap gangguan bahan pencemar organik dalam perairan. Penelitian ini bertujuan untuk menilai kualitas air Sungai Nimbai menggunakan tingkat toleransi makroavertebrata bentos dan beberapa parameter kualitas air. Pengambilan data dilaksanakan pada bulan Juni–Juli dan September–Oktober 2012 pada tujuh stasiun (L1–L7) dari hulu sampai hilir Sungai Nimbai yang bertemu dengan Sungai Prafi. Makroavertebrata air diambil menggunakan surber dengan bukaan mata jaring 200 µm dan diidentifikasi sampai tingkat famili. Pada stasiun L5 yang dekat dengan instalasi pembuangan limbah kelapa sawit mengandung minyak dan lemak yang tinggi (< 1-3 mg/l), yang mengakibatkan menurunnya oksigen terlarut (DO) dan pH dibanding stasiun lainnya. Demikian juga dengan nilai H' yang rendah (0,83), namun sebaliknya nilai C tinggi (0,79) yang didominasi oleh *Oligochaeta*. Nilai *famili biotic index* (FBI) yang diperoleh menunjukkan kualitas air pada stasiun L1–L4 tergolong cukup baik sampai sangat baik sekali, namun kualitas air mulai menurun pada stasiun L5 yang tergolong sangat miskin. Seiring dengan semakin jauh jarak dari sumber pencemar di stasiun L5, kualitas air mulai membaik pada stasiun L6 dan L7. Hasil penelitian ini menunjukkan manfaat penting makroavertebrata bentos sebagai bioindikator untuk menilai kualitas perairan sungai, serta dapat menggambarkan gangguan lingkungan perairan terhadap habitat makroavertebrata bentos di Sungai Nimbai.

Kata kunci: kualitas air, makroavertebrata, sungai nimbai, tingkat toleransi

ABSTRACT

Benthos macroinvertebrates have been used as bioindicators to assess the waters quality of the stream, but still are very rarely to applied in West Papua streams. Benthos macroinvertebrates can describe the stream water quality so that very well be used as bioindicators, due to each species has a different tolerance to interference organic pollutants in waters. This study aimed to assess the water quality of Nimbai stream using benthos macroinvertebrates tolerance level and several water quality parameters. Data retrieval was conducted in June–July and September–October 2012 in seven stations (L1–L7) from Nimbai upstream to downstream that connected to Prafi river. The water macroinvertebrates were taken using surber with mesh size 200 µm and then was identified at the family level. At L5 station near the oil palm waste disposal installations was contains oil and fat (< 1-3 mg/l), which resulted in dissolved oxygen (DO) and pH is lower than the other stations. Similarly the value of H' is low (0.83), however, the value of C (0.79) was high that dominated by *Oligochaeta*. *Famili biotic index* (FBI) value obtained showed that water quality in the L1–L4 stations was in good to excellent condition, but the quality at L5 station is classified as very poor. As the distance far away from the sources of pollution in the L5 station, water quality tends to improve as shown in the L6 and L7 stations. The result of this study shows the important benefits of benthos macroinvertebrates as bioindicators for assessing the quality of stream waters, and can be described aquatic environments disturbance to the benthos macroinvertebrates habitats in Nimbai stream.

Keywords: macroinvertebrates, nimbai stream, tolerance value, water quality

¹ Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Papua, Jalan Gunung Salju, Amban, Manokwari 98314.

² Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Papua, Jalan Gunung Salju, Amban, Manokwari 98314.

³ Fakultas Kehutanan, Universitas Papua, Jalan Gunung Salju, Amban, Manokwari 98314.

* Penulis Korespondensi:

E-mail: simonleatemia@yahoo.com

PENDAHULUAN

Makroavertebrata bentos seringkali dikoleksi untuk mengevaluasi kualitas perairan maupun kualitas suatu habitat (Lenat 1993; Rosenberg & Resh 1993). Kelompok makroavertebrata bentos yang beragam, umumnya didominasi oleh kelompok insekta (serangga) (Mandaville 2002). Spesies makroavertebrata

bentos memiliki toleransi sensitif yang berbeda pada berbagai faktor biotik dan abiotik dalam lingkungannya, sehingga struktur komunitas makroavertebrata bentos umumnya digunakan sebagai indikator dari kondisi suatu sistem perairan (Armitage *et al.* 1983; Rosenberg & Resh 1993). Tingkat toleransi makroavertebrata bentos telah dikembangkan dengan memberikan skor bagi organisme indikator pada level taksonomi tertentu yang dikenal sebagai biotik indeks (Armitage *et al.* 1983) dan dapat digunakan untuk monitoring perairan sungai yang tercemar polutan organik, serta memiliki kebutuhan terhadap kondisi fisika dan kimia yang spesifik. Perubahan dalam kehadiran, jumlah, morfologi, fisiologi, maupun tingkah laku organisme dapat mengindikasikan keterbatasan kondisi fisika maupun kimia lingkungan yang disukainya (Rosenberg & Resh 1993). Kehadiran makroavertebrata bentos yang tinggi toleransi biasanya mengindikasikan kualitas air yang buruk dan sebaliknya makroavertebrata yang rendah toleransi mengindikasikan kualitas air yang baik (Hynes 1998).

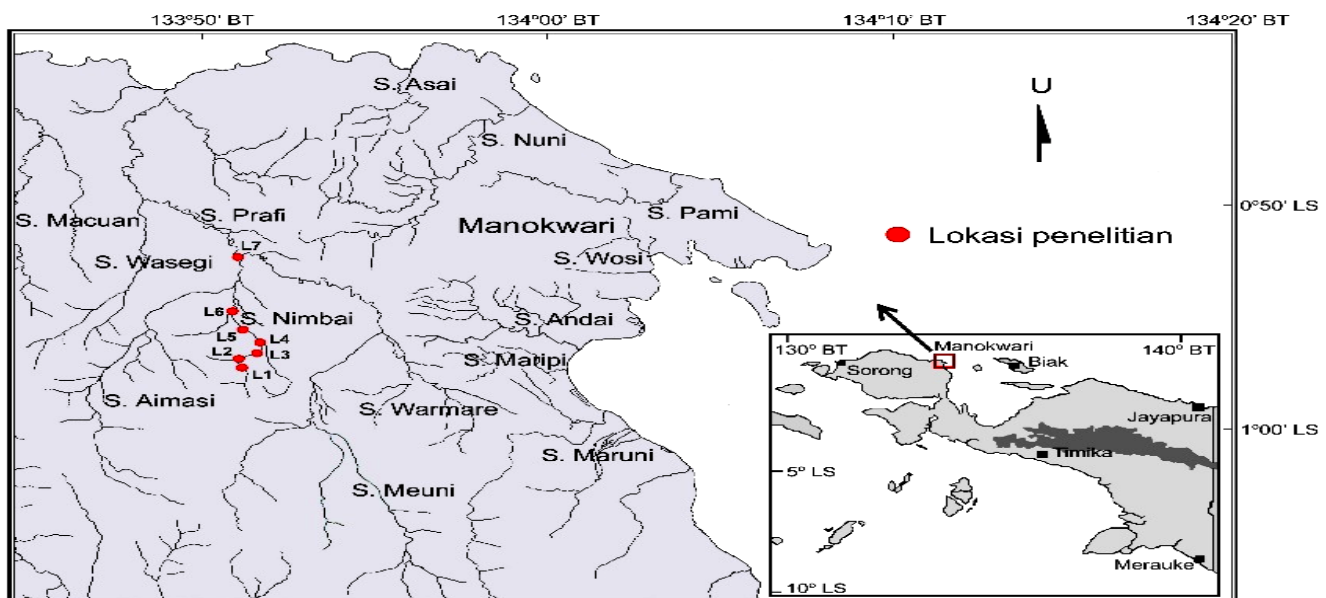
FBI merupakan upaya untuk mengetahui toleransi komunitas makroavertebrata bentos terhadap bahan pencemar organik (Lenat 1993). Kisaran toleransi makroavertebrata terhadap bahan pencemar diberi skor dari 0–10, dimana 0 merepresentasikan organisme yang sangat tidak toleran terhadap bahan pencemar dan 10 merepresentasikan organisme yang sangat toleran terhadap bahan pencemar (Hilsenhoff 1988b; Lenat 1993).

Penelitian tentang penggunaan makroavertebrata sebagai indikator penilaian kualitas air sungai sangat jarang dilakukan di sungai-sungai yang ada di Papua Barat, sementara dampak antropogenik terhadap sungai-sungai di Papua Barat terus berlangsung, salah satunya yang terjadi di Sungai Nimbai (Manangkalangi *et al.* 2009; Manangkalangi *et al.* 2014). Pembukaan lahan pertanian dan perkebunan kelapa sawit oleh transmigran dan PT Perkebunan

Negara (PTPN) II sejak akhir tahun 1970, menyebabkan berkurangnya daerah tangkapan air dan vegetasi riparian. Disamping itu, pembangunan fisik daerah transmigrasi juga berdampak bagi penurunan kualitas air dan kehidupan biota yang ada di dalam Sungai Nimbai (Manangkalangi *et al.* 2009). Di dekat Sungai Nimbai juga telah beroperasi pabrik pengolahan minyak kelapa sawit milik PTPN II. Limbah hasil olahan buah kelapa sawit (*palm oil mill effluent* (POME)) setelah diproses, dibuang ke Sungai Nimbai dan menjadi salah satu sumber utama pencemar bahan organik yang berdampak bagi komunitas makroavertebrata bentos (Richards & Host 1994; Madaki & Seng 2013).

METODE PENELITIAN

Pengambilan data dilakukan di daerah aliran Sungai Nimbai di Distrik Prafi, Kabupaten Manokwari (Gambar 1). Contoh makroavertebrata dan pengukuran parameter perairan dilakukan dalam dua periode waktu, yaitu bulan Juni–Juli mewakili musim kemarau dan September–Oktober 2012 mewakili musim hujan. Penentuan stasiun pengambilan contoh didasarkan pada tipe vegetasi riparian di sisi sungai. Contoh makroavertebrata diambil pada tujuh stasiun, stasiun 1 (L1) pada hutan alami serta pertemuan antara percabangan sungai, stasiun 2 (L2) masih alami, stasiun 3 (L3) mulai ada aktivitas masyarakat, stasiun 4 (L4) ada aktivitas masyarakat, stasiun 5 (L5) tempat pembuangan limbah minyak kelapa sawit (POME), stasiun 6 (L6) setelah pembuangan limbah dan dekat pemukiman serta dekat perkebunan kelapa sawit, dan stasiun 7 (L7) jauh dari pembuangan limbah dan perkebunan kelapa sawit (Gambar 1). Tiap stasiun terdiri atas dua tipe habitat, yaitu daerah beraliran deras dan tepi sungai beraliran lambat, kemudian data yang diperoleh dikomposit.



Gambar 1 Stasiun pengambilan data (Sumber: dimodifikasi dari Bakosurtanal 2006).

Pengukuran kualitas air pada tiap stasiun dilakukan sebanyak tiga kali ulangan. Parameter kualitas air meliputi suhu air (°C), oksigen terlarut (DO), pH, minyak, dan lemak, kecepatan aliran sungai menggunakan *basic handheld stream flowmeter Ward's* berketelitian 0,1 m/det, lebar genangan, dan kedalaman air pada segmen sungai di sekitar tipe habitat.

Contoh makroavertebrata air diambil menggunakan *surber* berukuran 0,0625 m² dengan bukaan mata jaring 200 µm. Sampel substrat dan makroavertebrata yang diperoleh dimasukkan ke dalam plastik sampel dan diawetkan dengan larutan formalin 4% dan diberi larutan pewarna *rose bengal* (*Brucela*) (Hauer & Resh 2007). Di laboratorium, makroavertebrata dipisahkan dari substrat dan dimasukkan ke dalam botol sampel dan diberi larutan alkohol 75%, selanjutnya makroavertebrata diidentifikasi berdasarkan karakter morfologi menggunakan mikroskop binokuler, mengikuti petunjuk Needham & Needham (1963); McCafferty (1983); Carver *et al.* (1996); Greenslade (1996); Lawrence & Britton (1996); Naumann (1996); Neboiss (1996); Nielsen & Common (1996); Peters & Campbell (1996); Watson & O'Farrell (1996); Bouchard (2004); Pescador & Richard (2004); Pescador *et al.* (2004), dan diidentifikasi sampai tingkat famili.

Debit air dihitung menggunakan rumus dalam Umay & Cuvin (1988). Kandungan minyak dan lemak, pestisida diuji di Laboratorium Produktivitas Lingkungan, Institut Pertanian Bogor, dan hasilnya dibandingkan dengan baku mutu air kelas I–III berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001. Indeks keanekaragaman dan dominansi makroavertebrata air dihitung menggunakan indeks keanekaragaman Shannon-Wiener (H') (Krebs 1989) dan dominansi (C) (Odum 1971). Tingkat toleransi makroavertebrata air diketahui menggunakan FBI menurut Hilsenhoff (1988b) dengan rumus:

$$\text{FamiliBiotic Index (FBI)} = \frac{\sum n_i \times t_i}{\sum N}$$

dimana N = jumlah total individu seluruh kelompok, n_i = jumlah individu kelompok ke-i, dan t_i = nilai toleransi famili ke-i. Adapun nilai toleransi untuk setiap famili diketahui menurut petunjuk Bode (1988), dan Hilsenhoff (1988a & 1988b), Lenat (1993).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hidrologi

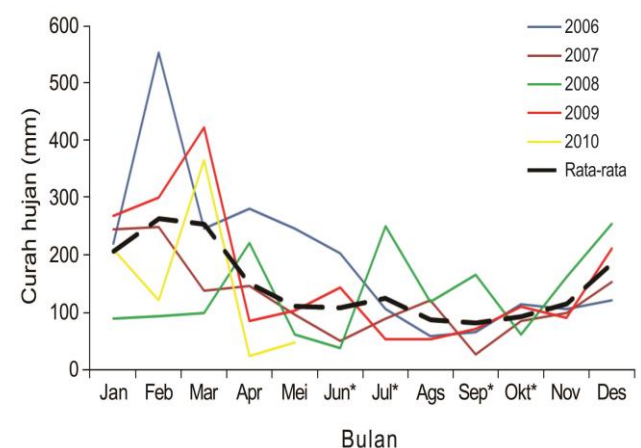
Berdasarkan waktu, rata-rata, dan kecepatan aliran air relatif tidak berbeda di antara kedua waktu pengukuran (Tabel 1). Kecepatan aliran Sungai Nimbai berkaitan dengan kondisi curah hujan yang relatif tidak berbeda di antara kedua waktu pengukuran (Gambar 2). Curah hujan rata-rata untuk Manokwari dan sekitarnya (BMKG 2012) menunjukkan relatif tidak berbeda antara kedua waktu pengukuran, yaitu 108,1–124,1 mm (Juni–Juli) dan 81,6–92,3 mm (September–Oktober), demikian pula

dengan debit air (Tabel 1). Namun sebaliknya berdasarkan stasiun, debit air semakin meningkat pada stasiun L7 karena semakin ke arah hilir terjadi penambahan volume air dari beberapa anak sungai.

Volume air yang relatif lebih tinggi pada bulan Juni–Juli dibandingkan bulan September–Oktober berpengaruh pada debit air dan kecepatan aliran sungai, yang pada akhirnya berdampak bagi kelimpahan makroavertebrata air. Kelimpahan individu yang lebih tinggi ditemukan pada aliran sungai yang lambat dibandingkan aliran sungai yang cepat, yang didominasi oleh kelompok insekta. Kelompok insekta (larva maupun insekta dewasa) akan hanyut atau tidak dapat bertahan apabila volume air meningkat saat curah hujan lebih tinggi (Saito & Mazao 2012), termasuk pula kelompok *Oligochaeta* yang akan terbawa aliran air yang deras (Crisci-Bispo *et al.* 2007; Martins *et al.* 2008). Hasil yang sama juga ditemukan pada penelitian sebelumnya oleh Manangkalangi *et al.* (2009) di sungai yang sama, menemukan kelimpahan makroavertebrata bentos yang lebih tinggi pada daerah tepi sungai yang beraliran lambat pada kondisi debit air yang rendah. Makroavertebrata bentos yang hanyut akan memungkinkannya untuk menghindari habitat yang tidak menguntungkan (Dudgeon 1982), selain itu merupakan mekanisme penting dalam penyebaran dan rekolonisasi habitat (James *et al.* 2007).

Tabel 1 Kisaran kecepatan aliran dan debit air pada setiap stasiun

Stasiun	Juni–Juli		September–Oktober	
	Kecepatan aliran (m/det.)	Debit air (m ³ /det.)	Kecepatan aliran (m/det.)	Debit air (m ³ /det.)
L1	-	-	0,10–0,30	0,30
L2	-	-	0,20–0,40	0,52
L3	0,10–1,20	0,90	0,30–0,60	0,78
L4	0,20–0,85	0,95	0,10–0,40	0,79
L5	0,10–0,70	0,96	0,10–0,90	0,90
L6	0,10–1,30	2,98	0,20–0,60	2,14
L7	0,60–1,40	22,20	0,60–1,50	22,39



Gambar 2 Data curah hujan Manokwari dan sekitarnya (BMKG 2012).

Keterangan: * waktu pengukuran kecepatan aliran dan debit air.

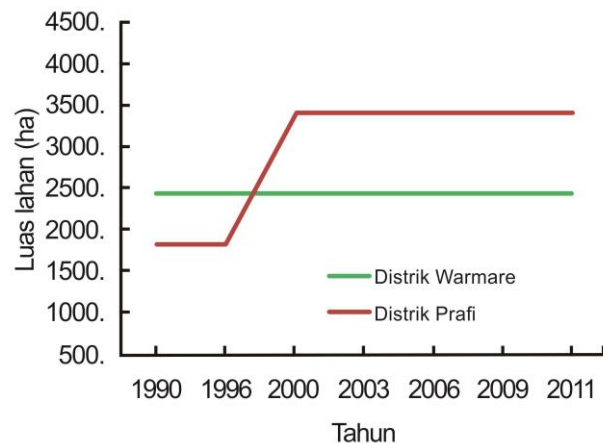
Kualitas Air

Suhu air di antara stasiun penelitian sangat bervariasi berdasarkan waktu pengukuran (Tabel 2). Variasi suhu air juga berkaitan dengan perbedaan waktu pengukuran dan kondisi naungan dari vegetasi riparian. Pada stasiun ke arah hulu dan tengah (L1–L5) vegetasi riparian cenderung lebih tertutup dibandingkan stasiun ke arah hilir (L6–L7) yang terbuka dan berupa riparian padang rumput, sehingga cahaya matahari sampai ke permukaan perairan, yang berdampak terhadap meningkatnya suhu air (Sponseller *et al.* 2001). Dalam penelitian ini terlihat bahwa stasiun dengan suhu air yang lebih rendah (L1–L3) memiliki keanekaragaman makroavertebrata bentos yang lebih tinggi dibanding stasiun lainnya. Demikian pula dengan makroavertebrata bentos yang memiliki toleransi yang rendah terhadap bahan pencemar organik seperti famili *Leptophlebiidae* dan *Psychomyiidae*, kelimpahannya lebih tinggi ditemukan pada stasiun (L1–L3) dengan suhu air yang lebih rendah.

Perubahan fungsi hutan riparian pada daerah tangkapan air sekitar Sungai Nimbai sebagai lahan perkebunan kelapa sawit, telah lama dilakukan setelah Distrik Warmare dan Prafi dijadikan sebagai daerah transmigrasi sejak akhir tahun 1970. Aliran Sungai Nimbai mengalir melewati kedua distrik tersebut. Berdasarkan data aktual yang dihimpun sampai tahun 2011, luasan area perkebunan kelapa sawit di Distrik Warmare tidak berubah sejak awal pembukaan, yaitu seluas 2.425,5 ha, sedangkan Distrik Prafi seluas 3.408,7 ha. Awalnya luasan perkebunan kelapa sawit di Distrik Prafi hanya 1.812,7 ha pada tahun 1990, namun terus bertambah luasanya hingga tahun 2011 (Gambar 3). Perkebunan kelapa sawit ini sebagian besar milik PTPN II, dan sebagian lagi milik masyarakat lokal dan transmigran. Hasil produksi buah kelapa sawit baik dari lahan perusahaan maupun masyarakat, disetor untuk diolah di

pabrik pengolahan minyak kelapa sawit milik PTPN II yang ada di Prafi.

Konsentrasi oksigen terlarut (DO) relatif tidak berbeda secara nyata antara kedua waktu pengukuran. Namun jika dibandingkan antar stasiun, maka pada stasiun ke arah hulu (L1–L4) konsentrasi oksigen terlarut cenderung lebih tinggi (Tabel 2). Kandungan oksigen terlarut yang lebih tinggi dipengaruhi oleh suhu air yang lebih rendah. Pada stasiun L5, sebagai lokasi buangan limbah pengolahan buah kelapa sawit (*palm oil mill effluent* (POME)), menyebabkan menurunnya konsentrasi oksigen terlarut (menjadi minimum 2,19 dan 3,21 mg/l¹). Limbah POME berupa koloid tersuspensi berwarna hitam kecokelatan mengandung konsentrasi bahan organik, padatan tersuspensi, minyak dan lemak yang tinggi, dan bersifat asam (pH 4,5) (Ma 2000). Perairan sungai yang telah tercemar limbah POME, oksigen terlarut akan digunakan dalam proses oksidasi dari zat-zat



Gambar 3 Grafik luas area perkebunan kelapa sawit (ha), yang sebagian berada di daerah tangkapan air Sungai Nimbai di Distrik Warmare dan Prafi (data diperoleh dari BAPPEDA Kabupaten Manokwari).

Tabel 2 Parameter fisik-kimia air Sungai Nimbai

Stasiun dan periode pengukuran	Suhu (°C)	Oksigen terlarut (mg/l ¹)	pH air	Minyak & lemak (mg/l ¹)	Pestisida (µg/l) ^{**}
L1 Juni–Juli	-	-	-	-	-
September–Oktober	24,0	6,02	6,63–6,67	-	-
L2 Juni–Juli	-	-	-	-	-
September–Oktober	24,0	5,94–6,32	7,94	-	-
L3 Juni–Juli	25,0–25,5	5,30–5,78	7,71–7,91	-	-
September–Oktober	27,0	5,52–5,73	7,90–7,98	< 1	< 0,02 ^{**}
L4 Juni–Juli	26,3–27,5	5,06–6,87	7,72–7,95	-	-
September–Oktober	26,0	5,25–5,54	7,85–7,86	< 1	< 0,02 ^{**}
L5 Juni–Juli	25,5–27,0	2,19–5,21	7,64–7,67	-	-
September–Oktober	27,0–28,0	3,21–5,26	5,66–6,57	< 1–3 [*]	-
L6 Juni–Juli	29,5–31,8	5,11–5,98	7,59–7,69	-	-
September–Oktober	28,0	4,65–5,90	6,80–6,93	< 1	< 0,02 ^{**}
L7 Juni–Juli	28,1–29,2	5,83–5,88	7,62–7,76	-	-
September–Oktober	31,0–32,0	4,23–4,65	7,93–8,29	< 1	< 0,02 ^{**}

Keterangan:

^{*} Melampaui Baku Mutu Kelas I–III, yaitu 1 mg/l¹ (PP No. 2 Tahun 2001)

^{**} Di bawah Baku Mutu Kelas I–IV, yaitu 2–329 µg/l (PP No 82 Tahun 2001)

- Tidak dilakukan pengukuran

atau proses dekomposisi bahan organik oleh bakteri, yang dalam kondisi lebih buruk dapat menyebabkan kondisi perairan yang anaerob (Ahmad *et al.* 2003). Konsentrasi oksigen terlarut di bawah 5 mg/l¹ akan mengganggu fungsi dan kelangsungan hidup biota akuatik, termasuk makrovertebrata air (Chapman & Kimstach 1992). Dalam penelitian ini, kelompok *Oligochaeta* pada stasiun L5 memiliki kelimpahan yang paling tinggi (1.900 ind/m²). *Oligochaeta* terutama dari famili *Tubificidae* memiliki toleransi yang tinggi terhadap limbah bahan organik, sehingga jika konsentrasi limbah terus bertambah maka *Tubificidae* akan menggeser dan menggantikan keberadaan insekta air (Schenkova & Helesic 2006), seperti *Baetidae*, *Chironomidae*, dan *Hydropsycidae* yang memiliki toleransi sedang (Tabel 3).

Nilai pH pada hampir semua stasiun berada dalam kisaran di antara netral dan basa, kecuali stasiun L5 yang lebih rendah (asam) yang mengindikasikan meningkatnya bahan pencemar (POME) (Tabel 2). Selain pH yang rendah pada stasiun L5, konsentrasi minyak dan lemak berada di atas baku mutu, yaitu 3 mg/l¹ (Tabel 2). Tingginya konsentrasi minyak dan lemak berkaitan dengan sistem pengolahan limbah yang tidak diolah dengan baik. Limbah POME yang tidak diolah dengan baik sebelum dibuang ke sungai merupakan bahan pencemar yang sangat berbahaya bagi kehidupan biota perairan (Rupani *et al.* 2010). Kelompok makrovertebrata memiliki kisaran toleransi terhadap pH air yang berbeda-beda, misalnya *Trichoptera* hanya hidup pada pH air yang lebih tinggi, sedangkan kelompok *Coleoptera* dan *Diptera* mampu

Tabel 3 Komposisi famili dan kepadatan mutlak (ind/m²) makrovertebrata air

Taksa	Stasiun						
	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7
Ephemeroptera	576	277	528	164	100	216	108
Baetidae ²	48	32	288	128	64	148	44
Caenidae ³	80	21	32	32	12	60	60
Leptophlebiidae ¹	432	224	192				
Trycorythidae ²			16	4	24	8	4
Ephemeroptera*	16						
Diptera	176	160	432	1.596	32	248	198
Ceratopogonidae ²	16	11					
Chironomidae ²	144	149	368	1.500	32	248	180
Culicidae ³							4
Dixidae ¹			64	80			8
Simuliidae ²	16			4			
Tipulidae ¹				8			4
Diptera*				4			
Hymenoptera	16	5		52	8		
Formicidae	16	5		52			
Hymenoptera*					8		
Trichoptera	304	240	192	12	68	72	12
Glossosomatidae ¹			16				
Hydropsycidae ²	224	187	128		60	64	12
Leptoceridae ²	32						
Lepidostomatidae ¹		5					
Philopotamidae ¹	32	5					
Psychomiidae ¹	16	43	48	12	8		
Trichoptera*						8	
Coleoptera		11	16	72	16		
Elmidae ²		5	16		4		
Hydrophilidae ²		5			12		
Odonata	16	5	16				
Gomphidae ¹	16	5					
Libellulidae ³			16				
Hemiptera		32					
Ambrysmae		11					
Naucoridae ²		21					
Megaloptera		5					
Insekta air lain**	64	27		72	20		
ANNELIDA							
Oligochaeta ^{3**}	16	11		68	1.936	600	12
JUMLAH TAKSA	15	18	11	12	11	7	9
Kepadatan mutlak total (ind/m ²)	1.168	767	1.184	1.964	2.180	1.136	328

Keterangan:

* Tidak teridentifikasi sampai tingkat famili,

** Tidak teridentifikasi sampai tingkat orda/famili,

¹ Toleran terhadap bahan organik rendah,

² Toleran terhadap bahan organik sedang,

³ Toleran terhadap pencemaran bahan organik tinggi.

mentolerir kisaran pH air yang lebih luas (4,8–8,5) (Hawkes 1997).

Makroavertebrata

Kelompok makroavertebrata yang ditemukan di Sungai Nimbai, didominasi oleh kelompok larva dan insekta dewasa yang terdiri dari taksa *Ephemeroptera*, *Diptera*, *Hymenoptera*, *Trichoptera*, *Coleoptera*, *Odonata*, *Hemiptera*, *Megaloptera*, dan *Oligochaeta* (Tabel 4). Komposisi famili makroavertebrata menunjukkan adanya variasi di antara tiap stasiun penelitian, yang dipengaruhi oleh kondisi hidrologi dan fisika-kimia habitat perairan yang berbeda-beda pada lingkungan sungai (Giller & Malmqvist 1988; Brown *et al.* 2006). Jumlah taksa yang ditemukan pada stasiun yang perairannya masih sangat baik dan baik (L1 & L2) relatif lebih tinggi dibandingkan kelima stasiun lainnya, terutama stasiun yang semakin jauh dari hulu sungai. Menurunnya jumlah taksa sangat berkaitan dengan kondisi fisik habitat sungai yang semakin banyak gangguan akibat masukan bahan pencemar organik yang berpengaruh pada menurunnya nilai oksigen terlarut (DO), pH (Chessman & McEvoy 2012), dan terbukanya area riparian sungai yang mengakibatkan meningkatnya suhu air sungai (Leatemia *et al.* 2016).

Kepadatan makroavertebrata bervariasi berdasarkan famili dan stasiun penelitian (Tabel 4). Stasiun L4 dan L5 memiliki kepadatan makroavertebrata lebih tinggi dibandingkan stasiun lainnya, dan didominasi oleh famili *Baetidae*, *Chironomidae*, dan *Oligochaeta* yang toleran terhadap pencemaran bahan organik sedang sampai tinggi (Hilsenhoff 1988b). *Chironomidae* dan *Oligochaeta* toleran pada perairan sungai yang rendah oksigen terlarut, namun jika semakin rendah kandungan oksigen terlarut (*hypoxic*) maka *Oligochaeta* akan menjadi lebih dominan dibandingkan *Chironomidae* (Mandaville 2002), seperti pada stasiun L5. *Oligochaeta* menjadi melimpah karena mampu mentolerir kandungan oksigen terlarut dan pH yang rendah, serta bahan pencemar organik yang tinggi sehingga sangat baik dijadikan bioindikator kualitas perairan yang buruk (Schenkova & Helesic 2006; Martins *et al.* 2008). Rendahnya kepadatan makroavertebrata pada stasiun L6 dan L7 berkaitan dengan vegetasi hutan riparian terbuka yang terdiri atas areal padang rumput, bekas kebun tradisional, lahan kelapa sawit, dan tempat penggembalaan ternak di tepi aliran sungai pada kedua stasiun.

Presentase famili yang mempunyai kisaran toleransi sedang sampai rendah lebih dominan pada stasiun

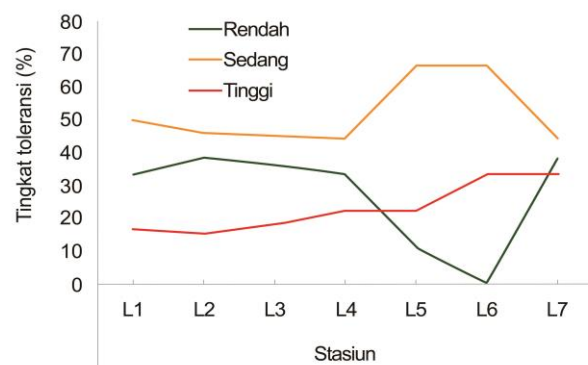
Tabel 4 Indeks keanekaragaman Shanon-Wiener (H') dan dominansi (C) komunitas makroavertebrata air pada setiap stasiun penelitian

Stasiun	H'	C
L1	2,92	0,20
L2	2,95	0,19
L3	2,68	0,20
L4	1,45	0,59
L5	0,83	0,79
L6	1,91	0,33
L7	2,02	0,36

yang relatif alami (L1–L4) seperti (*Leptophlebiidae* toleransi rendah) serta (*Chironomidae* dan *Hydropterygidae* toleransi sedang). Proporsi famili dengan tingkat toleransi yang rendah terhadap pencemaran, lebih tinggi dibandingkan stasiun yang sudah terganggu (L5–L7) (Gambar 4). Namun satu hal yang menarik bahwa kelompok famili yang memiliki kisaran toleransi rendah, yaitu *Dixidae* dan *Tipulidae*, walau kepadatannya rendah, mulai terlihat pada stasiun L7 yang semakin jauh dari sumber limbah organik POME. Hal ini mengindikasikan bahwa limbah POME mengalami penyebaran dan pengenceran akibat aliran turbulensi ketika semakin jauh dari sumber buangan (Crunkilton & Duchrow 1990), sehingga makroavertebrata dengan tingkat toleransi rendah dapat menempati kembali habitat tersebut.

Perubahan lingkungan di bagian hulu, seperti perubahan substrat dasar berbatu menjadi substrat berukuran kecil (lumpur dan liat) dapat menyebabkan hilangnya famili *Leptophlebiidae* (*Ephemeroptera*), *Glossosomatidae*, *Leptoceridae*, *Lepidostomatidae*, dan *Philopotamidae* (*Trichoptera*) yang sangat peka terhadap perubahan lingkungan, selain itu, pencemaran bahan organik di sungai telah mengurangi keanekaragaman spesies dari sistem perairan Sungai Nimbai, dan menciptakan lingkungan yang menguntungkan bagi beberapa spesies makroavertebrata yang mampu mentoleransi bahan pencemar (Bartsch & Ingram 1975). Dengan demikian, dalam aliran yang tercemar bahan organik biasanya beberapa famili yang toleransi tinggi menjadi dominan seperti *Oligochaeta*, sedangkan dalam aliran belum tercemar atau sedikit bahan pencemar, keanekaragaman famili makroavertebrata dengan toleransi rendah akan meningkat.

Nilai indeks keanekaragaman (H') terendah pada stasiun L5 (0,83) (Tabel 4). Selain jumlah famili yang lebih sedikit, nilai indeks yang rendah juga dipengaruhi oleh proporsi dari kelompok tertentu (misalnya *Oligochaeta*) yang jauh lebih besar dibandingkan kelompok lain. Namun pada stasiun L1–L3 dengan kualitas perairan yang masih sangat baik sampai sangat baik sekali (Tabel 5), nilai indeks keanekaragaman lebih tinggi sehingga berimplikasi pada lebih stabilnya komunitas makroavertebrata air. Indeks dominansi (C) yang mendekati satu pada stasiun L5 menunjukkan dominansi *Oligochaeta*, yang men-



Gambar 4 Tingkat toleransi makroavertebrata air (%) terhadap limbah organik POME.

Tabel 5 Nilai *famili biotic index* (FBI) berdasarkan stasiun penelitian

Stasiun	FBI	Klasifikasi	
		Kualitas perairan	Tingkat pencemaran bahan organik
L1	3,27	Sangat baik sekali	Tidak ada pencemaran bahan organik
L2	4,05	Sangat baik	Kemungkinan sedikit bahan pencemar organik
L3	4,14	Sangat baik	Kemungkinan sedikit bahan pencemar organik
L4	5,32	Cukup baik	Bahan pencemar organik cenderung cukup besar
L5	7,64	Sangat miskin	Cenderung terdapat bahan pencemar organik yang parah
L6	6,68	Miskin	Bahan pencemar organik cenderung sangat besar
L7	5,76	Agak miskin	Kemungkinan bahan pencemar organik cukup besar

cerminkan komunitas berada di bawah pengaruh stres lingkungan akibat meningkatnya bahan pencemar POME yang menurunkan kandungan oksigen terlarut dan pH (Plafkin *et al.* 1989). Setiap jenis makro-vertebrata memiliki tingkat toleransi yang berbeda terhadap bahan pencemar organik dan faktor-faktor abiotik lainnya dalam ekosistem sungai (Rosenberg & Resh 1993).

Berdasarkan nilai FBI, perairan sungai pada stasiun L1–L3 dalam kategori sangat baik sekali sampai sangat baik (Tabel 5). Sedangkan stasiun L4–L7 termasuk dalam kategori cukup baik sampai sangat miskin. Nilai indeks ini sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor stres lingkungan, yaitu terbukanya vegetasi riparian, meningkatnya limbah organik yang berasal dari saluran pembuangan IPAL PT. Perkebunan Nusantara II, menurunnya kandungan oksigen terlarut dan pH (menyebabkan perairan menjadi lebih asam), dan aktivitas masyarakat di sekitar stasiun penelitian. Faktor-faktor stres lingkungan ini merupakan informasi penting bagi pemerintah setempat dalam pemantauan kualitas air Sungai Nimbai.

Hasil dari indeks keanekaragaman dan FBI dalam penelitian ini menunjukkan kategori penilaian kualitas air yang sama. Dimana stasiun dengan nilai indeks keanekaragaman yang lebih tinggi (L1–L3) mencerminkan kualitas perairan yang tergolong sangat baik sekali sampai sangat baik berdasarkan FBI, sedangkan indeks keanekaragaman yang rendah (L4–L7) mencerminkan kualitas perairan yang tergolong cukup baik sampai sangat miskin (L4–L7).

KESIMPULAN

Toleransi makrovertebrata bentos yang berbeda terhadap gangguan yang merubah habitat, terutama terhadap limbah organik POME, dapat dijadikan bio-indikator kualitas air Sungai Nimbai yang baik. Limbah POME yang tidak dikelola dengan baik sebelum dibuang, telah meningkatkan kandungan minyak dan menurunkan kandungan oksigen terlarut (DO), dan pH air Sungai Nimbai sehingga kelimpahan makrovertebrata bentos yang memiliki toleransi tinggi semakin meningkat. Namun pada stasiun yang semakin jauh dari sumber buangan limbah POME, kualitas air mulai membaik dengan munculnya makrovertebrata bentos yang memiliki toleransi rendah, walaupun vegetasi riparian di sepanjang sungai semakin terbuka dan suhu air semakin meningkat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada DP2M DIKTI yang memberikan dana Penelitian Strategis Nasional No: 041/SP2H/PL/Dit.Litabmas/III/-2012 sehingga penelitian ini terlaksana. Ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada Martinus Iwanggin, Frengky N. Krey, Berty D. Arebo, Irman Rumengan, Ofenty Kaiway, Alfred W. Nauw, Hadi Prayitno dan Givan Y. Iryanto yang telah membantu pengumpulan data di lapangan dan identifikasi makrovertebrata air di laboratorium. Terima kasih penulis sampaikan juga kepada Zulfikar Mardiadi untuk data luas perkebunan kelapa sawit di Distrik Warmare dan Prafi.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad AL, Ismail S, Bhatia S, 2003. Water recycling from palm oil mill effluent (POME) using membrane technology. *Desalination*. 157(1–3): 87–95. <http://doi.org/bq8xcz>
- Armitage PD, Moss D, Wright JF, Furse MT. 1983. The performance of a new biological water quality score system based on macroinvertebrates over a wide range of unpolluted running water sites. *Water Research*. 17(3): 333–347. <http://doi.org/b97s6z>
- [Bakosurtanal] Badan Koordinasi Survei dan Pemetaan Nasional. 2006. Peta Rupabumi Indonesia. Manokwari Lembar 3015. Badan Koordinasi Survei dan Pemetaan Nasional. Bogor (ID).
- [BMKG] Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. 2012. Data jumlah curah dan hari hujan bulan Januari–Desember 2012. Stasiun Meterologi Kelas II Manokwari.
- Bartsch AF, Ingram WM. 1975. Stream life and the pollution environment., in: Keup LE, Ingram WM, MacKenthun KM (eds.). *Biology of water pollution*. Washington DC (US): Department of the Interior. pp. 119–127.
- Bode RW. 1988. *Quality assurance workplan for biological stream monitoring in New York State*. Albany, New York (US): New York State Department of Environmental Conservation.

- Bouchard RW. 2004. *Guide to aquatic invertebrates of the Upper Midwest: identification manual for students, citizen monitors, and aquatic resource professionals*. University of Minnesota (US).
- Brown LE, Milner AM, Hannah DM. 2006. Stability and persistence of Alpine stream macroinvertebrate communities and the role of physicochemical habitat variables. *Hydrobiologia*. 560(1): 159–173. <http://doi.org/ffpzp7>
- Carver M, Gross GF, Woodward TE. 1996. Hemiptera (bugs, leafhoppers, cicadas, aphids, scale insects etc.). in: Naumann ID, Carne PB, Lawrence JF, Nielsen ES, Spradbery JP, Taylor RW, Whitten MJ, Littlejohn MJ (eds). *The insects of Australia: A textbook for students and research workers*. Volume I. Melbourne University Press. pp. 429–509.
- Chapman D, Kimstach V. 1992. Selection of water quality variables. in: Chapman D (Ed.). *Water assessment*. UNESCO, WHO and UNEP. pp. 59–126.
- Chessman BC, McEvoy PK. 2012. Insights into human impacts on streams from tolerance profiles of macroinvertebrate assemblages. *Water, Air, & Soil Pollution*. 223(3): 1343–1352. <http://doi.org/dg4p2n>
- Crisci-Bispo VL, Bispo PC, Froehlich CG. 2007. Ephemeroptera Plecoptera and Trichoptera assemblages in two Atlantic Rainforest stream, Southeastern Brazil. *Revista Brasileira de Zoologia*. 24 (2): 312–318. <http://doi.org/fpwrqz>
- Crunkilton RL, Duchrow RM. 1990. Impact of a massive crude oil spill on the invertebrate fauna of a Missouri Ozark stream. *Environmental Pollution*. 63(1): 13–31. <http://doi.org/b28h4h>
- Dudgeon D. 1982. Aspect of microdistribution of insect macrobenthos in a forest stream in Hongkong. *Arch. Hydrobiol*. 64(2): 221–239.
- Greenslade PJ. 1996. Collembola (Springtails). in: Naumann ID, Carne PB, Lawrence JF, Nielsen ES, Spradbery JP, Taylor RW, Whitten MJ, Littlejohn MJ (eds). *The insects of Australia: A textbook for students and research workers*. Volume I. Melbourne: University Press. pp. 252–264.
- Giller PS, Malmqvist B. 1988. *The biology of streams and rivers*. Oxford University Press.
- Hawkes HA. 1997. Origin and development of the biological monitoring working party score system. *Water Research*. 32(3): 964–968. <http://doi.org/dmwj59>
- Hauer FR, Resh VH. 2007. Benthic macroinvertebrates. In: Hauer FR, Lamberti GA (eds). *Methods in stream ecology*. Academic Press. pp. 339–369.
- Hilsenhoff WL. 1988a. Seasonal correction factors for the biotic index. *The Great Lakes Entomologist*. 21(1): 9–13.
- Hilsenhoff WL. 1988b. Rapid field assessment of organic pollution with a family level biotic index. *Journal of the North American Benthological Society*. 7(1): 65–68. <http://doi.org/ds4vrk>
- Hynes KE. 1998. *Benthic macroinvertebrate diversity and biotic indices for monitoring of 5 urban and urbanizing lakes within the halifax regional municipality* (HRM), Nova Scotia, Canada. Soil & Water Conservation Society of Metro Halifax. xiv, 114p.
- James ABW, Dewson ZS, Death RG. 2007. The effect of experimental flow reductions on macroinvertebrates drift in natural and streamside channels. *River Research and Applications*. 24(1): 22–35. <http://doi.org/ddt5vj>
- Krebs CJ. 1989. *Ecological methodology*. New York (US): Harper Collins Publisher.
- Lawrence JF, Britton EB. 1996. Coleoptera (Beetles). in: Naumann ID, Carne PB, Lawrence JF, Nielsen ES, Spradbery JP, Taylor RW, Whitten MJ, Littlejohn MJ (eds). *The insects of Australia: A textbook for students and research workers*. Volume II. Melbourne University Press. pp. 543–683.
- Leatemia SPO, Wanggai E, Talakua S. 2016. Kelimpahan dan keanekaragaman makroavertebrata air pada kerapatan vegetasi riparian yang berbeda di Sungai Aimasi Kabupaten Manokwari. *Journal of Fisheries Development*. 3(1): 25–38.
- Lenat DR. 1993. A biotic index for the southeastern United States: derivation and list of tolerance values, with criteria for assigning water-quality ratings. *Journal of the North American Benthological Society*. 12(3): 279–290. <http://doi.org/c8whks>
- Ma AN. 2000. Environmental management for the oil palm industry. *Palm Oil Development*. 30: 1–10.
- Madaki YS, Seng L. 2013. Pollutan control how feasible is zero discharge concept in Malaysia palm oil mills. *American Journal of Engineering Research*. 2(10): 239–252.
- Manangkalangi E, Rahardjo MF, Sjafai DS, Sulistiono. 2009. Pengaruh kondisi hidrologi terhadap komunitas makroavertebrata di Sungai Aimasi dan Sungai Nimbai Manokwari. *Jurnal Perikanan dan Kelautan*. 3(2): 99–110.
- Manangkalangi E, Leatemia SPO, Lefaan PTH, Peday HFZ, Sembel L. 2014. Kondisi habitat ikan pelangi arfak *Melanotaenia arfakensis* Allen, 1990 di Sungai Nimbai, Prati Manokwari. *Jurnal Iktiologi Indonesia*. 14(1): 21–36.

- Mandaville SM. 2002 *Benthic macroinvertebrates in freshwaters-taxa tolerance values, metrics, and protocols*. Project H-1, Soil & Water Conservation Society of Metro Halifax. California (US).
- Martins RT, Stephans NNC, Alves RG. 2008. Tubificidae (Annelida: Oligochaeta) as an indicator of water quality in an urban stream in southeast Brazil. *Acta Limnologica Brasiliensia*. 20(3): 221–226.
- McCafferty WP. 1983. *Aquatic entomology: The fishermen's and ecologist's illustrated guide to insects and their relatives*. London (GB): Jones and Bartlett Publishers International.
- Naumann ID. 1996. Hymenoptera (Wasps, bees, ants, sawflies). in: Naumann ID, Carne PB, Lawrence JF, Nielsen ES, Spradbery JP, Taylor RW, Whitten MJ, Littlejohn MJ (eds). *The insects of Australia: A textbook for students and research workers*. Volume II. Melbourne University Press. pp. 916–1000.
- Neboiss A. 1996. Trichoptera (Caddis-flies, caddises). in: Naumann ID, Carne PB, Lawrence JF, Nielsen ES, Spradbery JP, Taylor RW, Whitten MJ, Littlejohn MJ (eds). *The insects of Australia: A textbook for students and research workers*. Volume II. Melbourne University Press. pp. 787–816.
- Needham JG, Needham PR. 1963. *A guide to the study of fresh-water biology*. Fifth edition. San Francisco (US): Holden-Day, Inc.
- Nielsen ES. Common IFB. 1996. Lepidoptera (Moths and butterflies). in: Naumann ID, Carne PB, Lawrence JF, Nielsen ES, Spradbery JP, Taylor RW, Whitten MJ, Littlejohn MJ (eds). *The insects of Australia: A textbook for students and research workers*. Volume II. Melbourne University Press. pp. 717–915.
- Odum EP. 1971. *Fundamental of ecology*, third ed. Samingan T, Srigandono B (Penterjemah). 1993. *Dasar-dasar ekologi*. Gajah Mada University Press. Terjemahan dari: *Fundamental of Ecology*. Edisi ketiga.
- Peters W, Campbell IC. 1996. Ephemeroptera (Mayflies). in: Naumann ID, Carne PB, Lawrence JF, Nielsen ES, Spradbery JP, Taylor RW, Whitten MJ, Littlejohn MJ (eds). *The insects of Australia: A textbook for students and research workers*. Volume I. Melbourne University Press. pp. 279–293.
- Pescador ML, Rasmussen AK, Harris SC. 2004. *Identification manual for the caddisfly (Tricoptera) larvae of Florida*. Revised Edition. State of Florida, Department of Environmental Protection.
- Pescador ML, Richard BA. 2004. *Guide to the mayflies (Ephemeroptera) nymphs of Florida*. State of Florida, Department of Environmental Protection.
- Plafkin JL, Barbour MT, Porter KD, Gross SK, Hughes RM. 1989. *Rapid Bioassessment Protocols for use in Streams and Rivers: Benthic Macroinvertebrates and Fish*. U.S. Environmental Protection Agency. EPA 440/4-89/00. 8 chapters, Appendices A-D.
- Richards C, Host G. 1994. Examining land use influences and streams habitat and macroinvertebrates: A GIS approach. *Journal of the American Water Resources Association*. 30(4): 729–738. <http://doi.org/b4zzg7>
- Rupani PF, Singh RP, Ibrahim MH, Esa N. 2010. Review of current palm oil mill effluent (POME) treatment methods: vermicomposting as a sustainable practice. *World Applied Sciences Journal*. 10(1): 1190–1201.
- Rosenberg DM, Resh VH. (eds.) 1993. *Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates*. New York (US): Chapman & Hall.
- Saito VS, Mazao GR. 2012. Macroinvertebrates under stochastic hydrological disturbance in Cerrado streams of Central Brazil. *Iherengia, Serie Zoologia, Porto Alegre*. 102(4): 448–452. <http://doi.org/b536>
- Schenkova J, Helesic J. 2006. Habitat preferences of aquatic Oligochaeta (Annelida) in the Rokttná River, Czech Republic- a small highland stream. *Hydrobiologia*. 564(1): 117–126. <http://doi.org/b49883>
- Sponseller RA, Benfield EF, Vallet HM. 2001. Relationship between land use, spatial scale and stream macroinvertebrates communities. *Freshwater Biology*. 46(10): 1409–1424. <http://doi.org/d7hjbv>
- Umaly RC, Cuvillan MALA. 1988. *Limnology. Laboratory and field guide physico-chemical factors biological factors*. Manila (PH): National Book Store.
- Watson JAL, O'Farrell AF. 1996. Odonata (Dragonflies and damselflies). In: Naumann ID, Carne PB, Lawrence JF, Nielsen ES, Spradbery JP, Taylor RW, Whitten MJ, Littlejohn MJ (eds). *The insects of Australia: A textbook for students and research workers*. Volume I. Melbourne University Press. pp. 294–310.